

УДК 622.692.4

## ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАГНІТАЧА ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕАЛЬНИХ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО РОБОТИ

М. П. Возняк, Т. В. Юрчило

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15; тел. +380(3422) 4-00-98  
e-mail:tzngkaf@rambler.ru

*Погіршення технічного стану нагнітачів газоперекачувальних агрегатів, що супроводжується зменшенням ККД, збільшенням споживаної потужності і перевитратою паливного газу, призводить до зниження продуктивності та надійності функціонування газотранспортних систем.*

*Об'єктом для проведення досліджень стала компресорна станція, на якій експлуатуються десятий рік п'ять агрегатів ГПА-Ц-16С. Показано, що при розробці режимів роботи діючих компресорних станцій з метою підвищення точності розрахунків необхідно враховувати реальний технічний стан газоперекачувальних агрегатів і, відповідно, відхилення паспортних зведених характеристик від реальних.*

Ключові слова: технічний стан обладнання, відцентровий нагнітач, зведена газодинамічна характеристика, математична модель.

*Ухудшение технического состояния нагнетателей газоперекачивающих агрегатов сопровождается уменьшением КПД, увеличением потребляемой мощности и перерасходом топливного газа, что приводит к снижению производительности и надежности функционирования газотранспортных систем.*

*Объектом исследования была компрессорная станция, на которой эксплуатируются десятий год пять агрегатов ГПА-Ц 16С. Установлено, что при разработке режимов работы действующих компрессорных станций с целью повышения точности расчетов необходимо учитывать реальное состояние газоперекачивающих агрегатов и, соответственно, отклонение паспортных характеристик от реальных.*

Ключевые слова: техническое состояние оборудования, центробежный нагнетатель, приведенная газодинамическая характеристика, математическая модель.

*Worsening of the technical state of superchargers of gas-compressor units, that is accompanied by reduction of efficiency, increase of brake power and overrun of fuel gas, results in the decline of the productivity and reliability of functioning of the gas-transport systems.*

*An object for realization is the compressor station on that five aggregates are exploited tenth year. It is shown that development of the modes of operations of operating compressor stations with the aim of increase of exactness of calculations it is necessary to take into account the real technical state of gas-compressor units and, accordingly, rejection of the passport erected descriptions from the real.*

Key words: technical state of equipment, centrifugal supercharger, erected gas-dynamic description, mathematical model.

Зведені характеристики нагнітачів це залежності зведеної внутрішньої потужності  $\left[ \frac{N_i}{\rho_{\text{вх}}} \right]_{36}$ , політропічного ККД  $\eta_{\text{пол}}$  і ступеня підвищення тиску  $\varepsilon$  (при певних значеннях відносних зведених обертів  $\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{36}$ ) від зведеної об'ємної подачі газу  $Q_{36}$ , які отримують у заводських умовах у результаті натурних випробовувань при перекачуванні повітря.

Використання даних характеристик закладає суттєву похибку у розрахунках, тому що не враховує реальні робочі умови експлуатації ГПА, склад газу, реальний технічний стан машин тощо.

Основними причинами погіршення технічного стану нагнітача, що супроводжується зменшенням ККД і збільшенням споживаної потужності є наступні [1]:

- ерозійне зношування робочих коліс (70 %);
- збільшення зазорів в ущільненнях покриваючого диска (20 %);
- ерозійне зношування дифузорів лопаток і забруднення проточної частини (10 %).

При зменшенні політропічного ККД нагнітача забезпечення постійності вихідних параметрів (тиску і витрати) супроводжується пропорційним збільшенням споживаної потужності. Як показує практика, зниження  $\eta_{\text{пол}}$  в процесі експлуатації може досягати понад 22 % за абсолютною величиною [2], що викликає необхідність вести постійний контроль за станом нагнітача, особливо після проведення капітального ремонту. Для визначення технічного стану нагнітача необхідно фактичний ККД співвіднести з паспортним (або початковим) при однаковій витраті газу ( $Q_{\text{зв}} = \text{idem}$ ), хоча правильніше визначати цей коефіцієнт, як відношення оптимуму ККД на фактичній і паспортній (початковій) характеристиці  $\eta_{\text{пол}} = f(Q_{\text{зв}})$ . Проте на практиці це важко здійснено, оскільки для цього необхідно мати експериментальні характеристики нагнітача за реальних режимів роботи компресорної станції.

З метою побудови фактичних характеристик нагнітачів з оперативних диспетчерських журналів КС зроблена вибірка наступних даних (за показами штатних давачів):

- абсолютний тиск на вході в нагнітач  $P_{\text{вх}}$ , МПа;
- абсолютний тиск на виході з нагнітача  $P_{\text{вих}}$ , МПа;
- температура газу на вході в нагнітач,  $T_{\text{вх}}$ , К;
- температура газу на виході з нагнітача,  $T_{\text{вих}}$ , К;
- фактичні оберти машин,  $n$ , об/хв;
- кількість працюючих нагнітачів,  $m$ ;
- комерційна продуктивність КС  $Q$ , млн. м<sup>3</sup>;
- склад газу (за даними хімлабораторії КС).

Побудову реальних зведених характеристик (при певних значеннях відносних зведених обертів) проведено за таким алгоритмом.

Обчислюється витрата газу за умов входу

$$Q_{\text{вх}} = \frac{0,24 \cdot Q \cdot z_{\text{вх}} \cdot T_{\text{вх}}}{P_{\text{вх}}} \quad (1)$$

де  $Q$  – продуктивність компресорного цеху за стандартних умов;  $T_{\text{вх}}$ ,  $P_{\text{вх}}$  - температура та абсолютний тиск на вході в нагнітач.

Визначається коефіцієнт стисливості газу за умов входу за формулою

$$z_{\text{вх}} = 1 - 5,5 \cdot 10^6 \frac{P_{\text{вх}} \cdot \Delta^{1,3}}{T_{\text{вх}}^{3,3}}, \quad (2)$$

де  $\Delta$  – відносна густина газу.

Визначається витрата газу на вході в один нагнітач

$$Q'_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{m} \quad (3)$$

Визначається зведена продуктивність

$$Q_{\text{зв}} = \frac{n_n}{n} \cdot Q'_{\text{вх}} \quad (4)$$

Обчислюються зведені оберти

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{\text{зв}} = \frac{n}{n_n} \sqrt{\frac{R_{\text{зв}} \cdot T_{\text{зв}} \cdot z_{\text{зв}}}{R \cdot T_{\text{вх}} \cdot z_{\text{вх}}}} \quad (5)$$

Обчислюється ступінь підвищення тиску нагнітача

$$\varepsilon = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}. \quad (6)$$

Складність побудови даної залежності полягає в тому, що паспортні характеристики будуються наступним чином, а саме для певних значень зведених обертів отримують конкретні залежності ступеня підвищення тиску від зведеної витрати. Тому масив отриманих результатів відсортований за значеннями відносних зведених обертів у порядку зростання, після чого розбито його по ділянках таким чином, щоб діапазон числових значення зведених обертів кожної із ділянок був якомога ближчий до значень, при яких будувалась паспортна характеристика. Для кожного із отриманих діапазонів будуються свої залежності. Реальні параметри роботи компресорної станції не дозволяють отримати залежності для всіх значення відносних зведених обертів, що наведені на паспортній характеристиці. Для отримання всіх параметрів треба проводити спеціальні дослідження нагнітачів, шляхом їх “розгону” при всіх можливих значеннях відносних зведених обертів, по всьому можливому діапазону зведених витрат.

Визначення параметрів для побудови залежності політропічного ККД від зведеної продуктивності проводиться за методикою ВНДІГАЗ за значенням показника ізоентропи газу.

Для визначення фактичного ККД даним методом необхідно знати параметри газу на вході і виході нагнітача, а також склад газу.

Політропічний ККД ( $\eta_{пол}$ ) розраховується за формулою, яка застосовується при побудові характеристик нагнітача:

$$\eta_{пол} = \frac{n_m}{n_m - 1} \cdot \frac{k - 1}{k}, \quad (7)$$

де  $n_m$  - показник політропічного (зовнішньоадіабатного) процесу стиску;  $k$  - показник адіабати (при проведенні орієнтовних інженерних розрахунків його можна приймати  $k = 1,30$ ).

$$\frac{n_m}{n_m - 1} = \frac{\lg \varepsilon}{\lg \frac{T_{вих}}{T_{вх}}}. \quad (8)$$

$$\frac{k}{k - 1} = \frac{1}{z_{вх}} \cdot \left( \frac{k_0}{k_0 - 1} + \frac{\Delta C_p}{R} + z_{вх} \cdot X_1 \cdot \frac{n_m}{n_m - 1} \right). \quad (9)$$

Визначається показник адіабати газу в його ідеальному стані

$$\frac{k_0}{k_0 - 1} = \frac{5,15 + (5,65 + 0,017 \cdot t_{cp}) \cdot \Delta}{1,9858}, \quad (10)$$

де 1,9858 – універсальна газова стала, ккал/(моль·К);  $t_{cp}$  – середня температура газу в нагнітачі, °С.

Уводиться поправка на теплоємність за сталого тиску

$$\frac{\Delta C_p}{R} = \frac{6 \cdot \pi}{\tau^3} \cdot (0,41 - 0,02 \cdot \pi). \quad (11)$$

Обчислюється допоміжна функція

$$X_1 = \frac{\pi}{\tau \cdot z_{вх}} \cdot \left( \frac{1,23}{\tau} - 0,061 + \frac{0,12 \cdot \pi}{\tau} \right). \quad (12)$$

Визначаються параметри  $\pi$  і  $\tau$

$$\pi = \frac{P_{вх}}{P_{кр}}, \quad (13)$$

$$\tau = \frac{T_{ex}}{T_{кр}} \quad (14)$$

Критичні параметри тиску і температури обчислюються за формулами

$$T_{кр} = 162,8 \cdot (0,613 + \Delta), \quad (15)$$

$$P_{кр} = 0,0981 \cdot (47,9 - \Delta). \quad (16)$$

Визначається середня температура газу в нагнітачі

$$t_{cp} = \frac{t_{ex} + t_{вих}}{2}. \quad (17)$$

За отриманими результатами будується залежність політропічного ККД від зведеної продуктивності.

Індикаторну потужність газоперекачувального агрегату (ГПА) для привода відцентрових нагнітачів (ВН) КС визначаємо використовуючи "Нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы [2]

$$N_i = \frac{55,6 \cdot P_{ex} \cdot Q'_{ex}}{\eta_{пол}} \cdot (\varepsilon^{0,3} - 1). \quad (18)$$

Знаходимо зведену відносну внутрішню потужність

$$\left[ \frac{N_i}{\rho_{ex}} \right]_{36} = \frac{N_i}{\rho_{ex}} \cdot \left( \frac{n_n}{n} \right)^3. \quad (19)$$

За отриманими результатами будується залежність зведеної відносної внутрішньої потужності від зведеної продуктивності.

Об'єктом для проведення досліджень стала КС, на якій експлуатуються десятий рік п'ять агрегатів ГПА-Ц-16С.

На рисунку 1 представлено результати досліджень. Для усереднення даних результатів отримані масиви точок описані поліномом другого степеня лінії тренда. В результаті чого отримані усереднені фактичні моделі для нагнітачів ГПА-Ц-16С за результатами роботи протягом 2011 року, та їхні фактичні математичні рівняння. У даних розрахунках, через відсутність більш конкретних даних було припущено, що всі нагнітачі на КС мають однаковий технічний стан. Хоча в реальних умовах доцільно було б виконувати дані дослідження для кожного агрегату зокрема.

Як бачимо в реальних умовах роботи ГПА відбувається доволі суттєве "розсіювання" параметрів, тому криві, які описують дані точки мають доволі умовний характер.

У результаті математичної обробки отриманих результатів отримано фактичні математичні моделі та величина достовірності апроксимації  $R$ .

Ступінь підвищення тиску від зведеної витрати при зведених відносних обертах

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{36} = 0,8: \quad \varepsilon = 0,105 + 0,006 \cdot Q_{36} - 8 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{36}^2, \quad R^2 = 0,220; \quad (20)$$

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{36} = 0,85: \quad \varepsilon = 0,098 + 0,006 \cdot Q_{36} - 8 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{36}^2, \quad R^2 = 0,180; \quad (21)$$

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{36} = 0,9: \quad \varepsilon = 0,241 + 0,005 \cdot Q_{36} - 7 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{36}^2, \quad R^2 = 0,255; \quad (22)$$

$$\left[ \frac{n}{n_n} \right]_{36} = 0,95: \quad \varepsilon = 0,258 + 0,005 \cdot Q_{36} - 8 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{36}^2, \quad R^2 = 0,289; \quad (23)$$

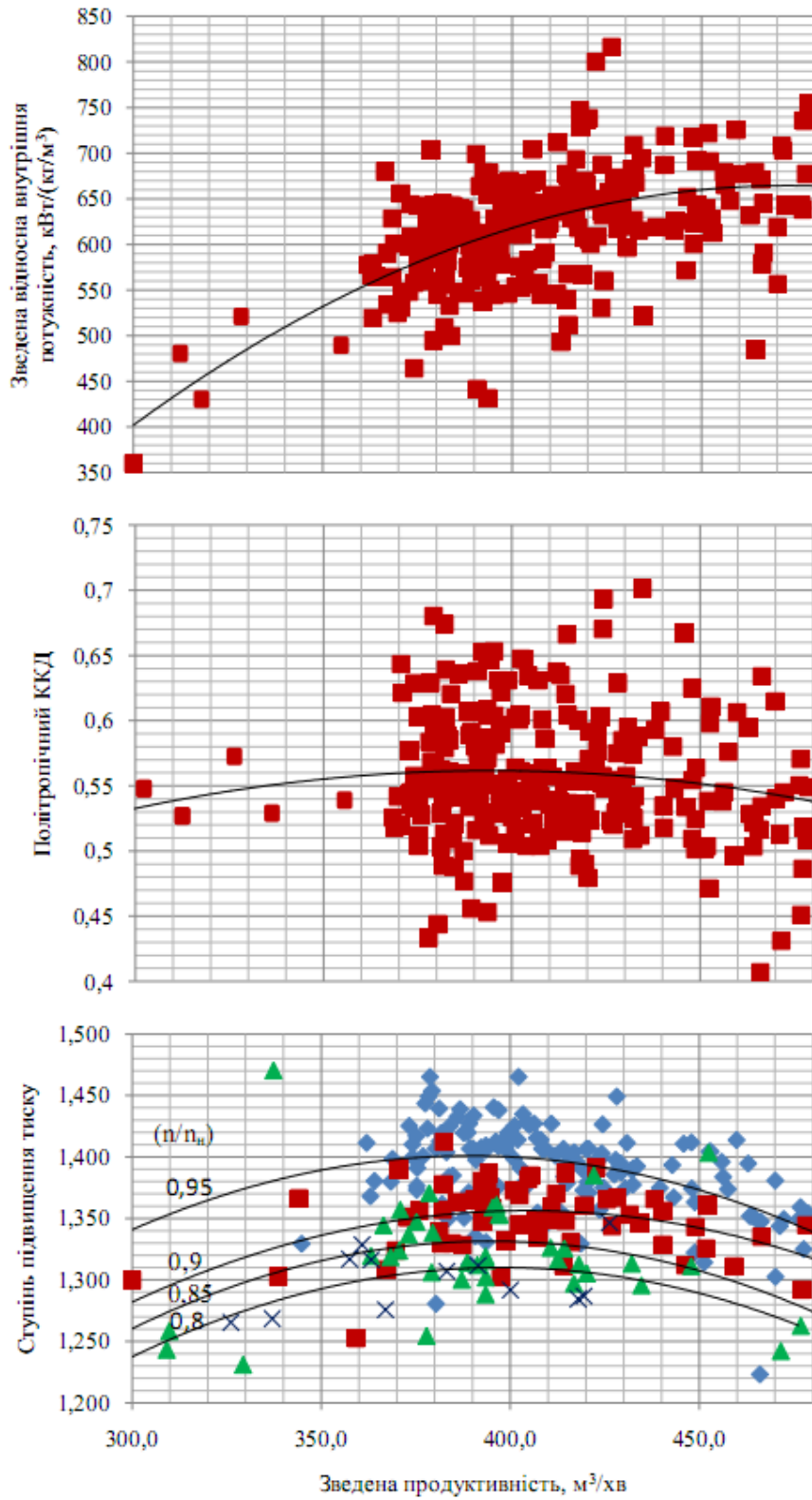


Рисунок 1 –Зведені характеристики нагнітача агрегату ГПА-Ц-16С за даними реальних режимних параметрів роботи нагнітача

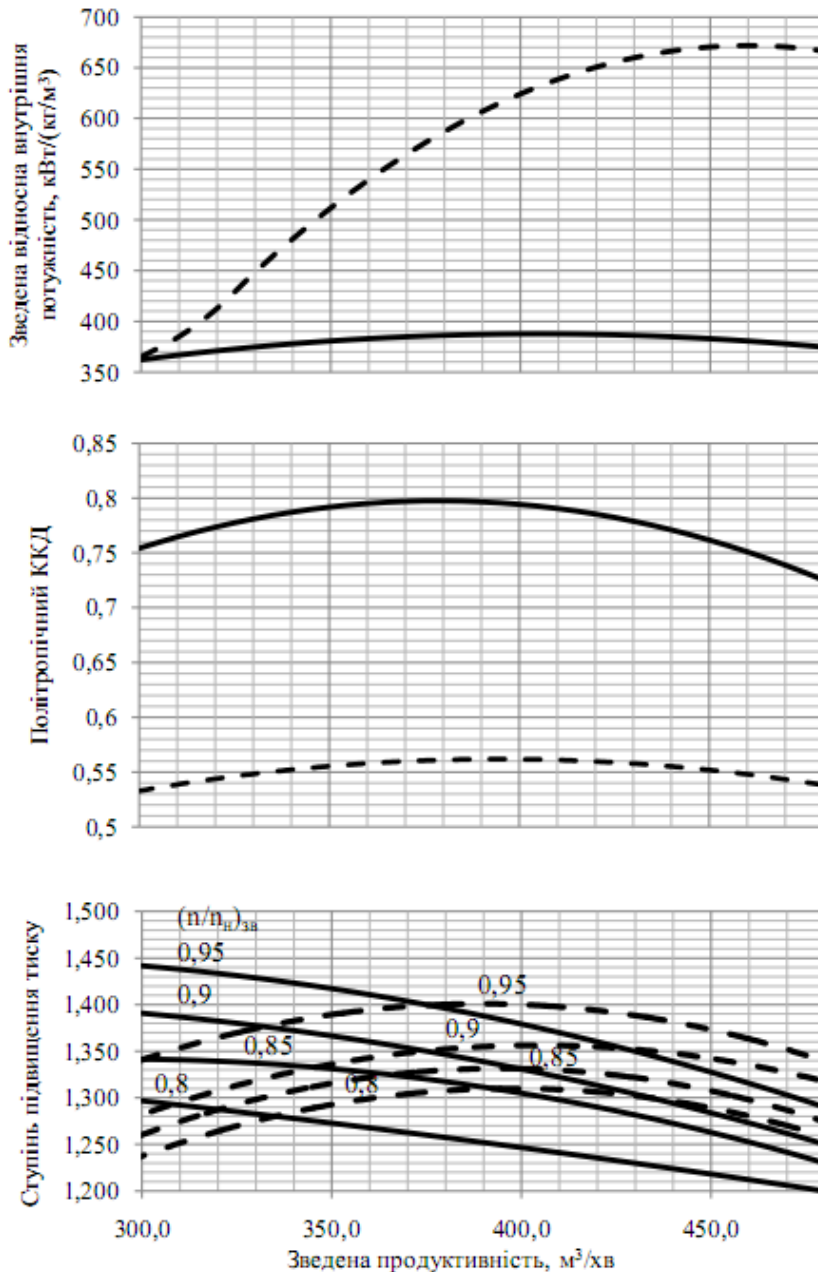
Для залежності політропічного ККД від зведеної витрати

$$\eta = 0,057 + 0,002 \cdot Q_{зв} - 3 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{зв}^2, R^2 = 0,029. \quad (24)$$

Для залежності зведеної відносної внутрішньої потужності від зведеної витрати

$$\left[ \frac{N_i}{\rho_{вх}} \right]_{зв} = -1301 + 8,317 \cdot Q_{зв} - 0,008 \cdot Q_{зв}^2, R^2 = 0,250. \quad (25)$$

Для оцінювання технічного стану нагнітача представимо на одному рисунку як паспортні зведені характеристики нагнітачів, так і фактичні, які отримані на основі обробки оперативних диспетчерських даних (рисунок 2).



———— - паспортні характеристики; - - - - фактичні характеристики

Рисунок 2 – Паспортні та реальні зведені характеристики нагнітачів ГПА-Ц-16С

Аналізуючи отримані результати видно, що характеристики нагнітача в процесі експлуатації суттєво змінюються, а саме відбувається суттєве “розшарування” параметрів, що в загальному супроводжується зменшення політропного ККД нагнітача до 30 %. Це пояснюється тим, що в процесі експлуатації відбувається зростання величини теплообміну з навколишнім середовищем, тобто термодинамічні процеси з більш адіабатичних стають політропічними. Зменшення політропічного ККД супроводжується пропорційним збільшенням споживаної потужності, що пояснюється значним погіршенням технічного стану машин. Також досліджено, що в процесі експлуатації нагнітачів парабола залежності ступеня підвищення тиску від зведеної продуктивності зміщуються в праву сторону. Отже, при розробці режимів роботи діючих КС з метою підвищення точності розрахунків необхідно враховувати реальний технічний стан ГПА і, відповідно, відхилення паспортних зведених характеристик від реальних.

### *Література*

1. Михалків В.Б. Проектування і експлуатація компресорних станцій: [конспект лекцій] / В.Б. Михалків– Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 236 с.
2. Лещенко І.Ч. Аналіз режимів функціонування систем трубопровідного транспорту газу з урахуванням технічного стану основного обладнання: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / І. Ч. Лещенко. – Київ., 2005. – 20 с.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы : ОНТП 51-1-85. – [Введены 1986-01-01]. – М.: Мингазпром., 1985. – 221 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,  
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*